

玉溪海绵城市透水砖堵塞恢复方法研究

文 韬¹, 李雅雯², 刘嘉豪², 高润年², 覃靖茹², 罗雨薇², 罗 凡²,
冯晓楠²

(1. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160; 2. 华中科技大学 环境科学与工程学院,
湖北 武汉 430074)

摘 要: 针对云南玉溪海绵城市建设中透水铺装的情况,采用人工配制的 SS 溶液模拟降雨径流,探究不同的清洗方式对透水砖堵塞的恢复效果及对透水砖养护的影响,以延长透水砖的使用年限。12 次堵塞/清洗实验结果表明,混合了柠檬酸钠的高压水清洗效果最佳,其次是普通高压水清洗、常压水清洗及使用毛刷清洗,透水系数分别维持在初始值的 50%、36%、15%、0.78%,毛刷刷洗几乎无效果。在湿润状态下清洗透水砖比干后再清洗效果更明显,透水系数分别维持在初始值的 52% 和 36%。通过对清洗周期的分析,表明短期内频繁的清洗对透水性能的恢复有良好效果,但在长期使用中区别不大。

关键词: 海绵城市; 透水砖; 恢复; 高压冲洗; 透水系数; 堵塞实验

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)12-0028-05

Research on Recovery Method of Permeable Bricks in Yuxi Sponge City

WEN Tao¹, LI Ya-wen², LIU Jia-hao², GAO Run-nian², QIN Jing-ru², LUO Yu-wei²,
LUO Fan², FENG Xiao-nan²

(1. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China; 2. School
of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan 430074, China)

Abstract: In view of permeable pavement in Yuxi sponge city construction in Yunnan, the artificially prepared SS solution was used to simulate rainfall runoff to explore the effects of different cleaning methods on clogging recovery and maintenance of permeable bricks, so as to extend their service life. After 12 times of clogging and cleaning experiments, the analysis showed that high pressure water cleaning with sodium citrate mixture had the best effect, followed by ordinary high-pressure water cleaning, normal pressure water cleaning and brush cleaning. Moreover, the water permeability coefficient was maintained at 50%, 36%, 15%, and 0.78% of the initial value, respectively. In particular, brushing was almost useless. Cleaning the permeable bricks in wet state was more effective than drying, and the water permeability coefficient was maintained at 52% and 36%, respectively. Through the analysis of the cleaning cycle, it was shown that the frequent cleaning in the short-term had a good effect on the recovery of water permeability, but there was little difference in long-term use.

Key words: sponge city; permeable brick; maintenance; high pressure flushing;

permeability coefficient; plugging experiment

透水铺装能够将雨水径流导入土壤中,有效缓解城市不透水路面的热岛效应、洪涝等各种问题,在海绵城市的建设过程中得到了广泛运用^[1]。然而在使用过程中,透水路面往往因悬浮颗粒进入孔隙而造成堵塞,导致其透水性能降低,使用年限缩短^[2]。

Balades 等^[3]提出 4 种养护透水路面的方法:湿润后清扫、清扫抽吸、仅抽吸、抽吸加冲洗;Vancura M E 等^[4]也证实了高压冲洗对透水路面的养护效果。针对不同的使用场合,透水铺装材料可分为透水混凝土、透水沥青和透水砖等多种类型^[5]。目前国内在透水混凝土的制备设计、堵塞机理及对径流水质控制影响等方面均有研究^[6-8],但关于透水砖的相关研究较少。

“重建设,轻管养”是许多城市建设中导致基础设施难以充分发挥其效力的重要原因。通过对玉溪海绵城市建设中铺设透水砖的研究,探寻不同清洗方式对其透水能力及使用年限等性能的影响,从而提高对透水砖维护需求以及维护方式的认知,充分发挥透水砖的实际功效,延长其使用年限。

1 实验装置和方法

1.1 装置和材料

透水砖堵塞实验装置如图 1 所示。

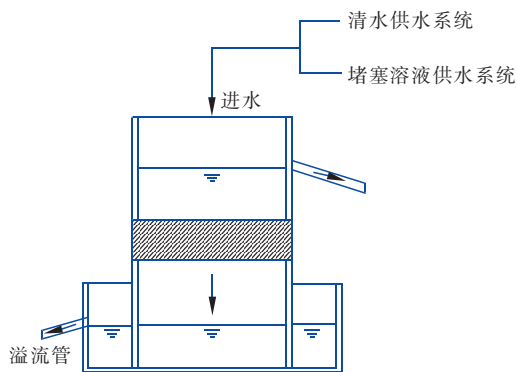


图 1 堵塞实验装置

Fig. 1 Schematic diagram of permeable brick blocking experimental device

① 试块

采用玉溪海绵城市铺设使用的仿石透水砖,由骨料、水泥、胶结剂和水等搅拌压制而成,具体参数见表 1。

表 1 透水砖性能参数

Tab. 1 Performance parameters of permeable brick

项目	抗压强度/ MPa	抗折强度/ MPa	透水系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	磨坑长度/ mm	防滑性
数值	≥ 35	≥ 3.5	≥ 0.02	28	70

② 堵塞剂

取自然土壤,磨成颗粒直径 $< 0.178 \text{ mm}$ 的粉末^[9],用自来水配制成 SS 溶液,设计浓度取 700 mg/L ^[10]。

③ 清洗工具

a. 高压水枪。功率为 1.3 kW ,压力为 10.5 MPa ,峰值流量为 6.6 L/min 。

b. 柠檬酸钠溶液^[11]。配制浓度为 2 g/L 。

c. 毛刷。实验室常用的试管刷。

1.2 实验方法

1.2.1 测定初始透水系数

透水性测量参照《透水路面板和透水路面板》(GB/T 25993—2010),按照下式计算透水系数:

$$k_T = \frac{QL}{AHt} \quad (1)$$

式中 k_T ——水温为 T 时试样的透水系数, cm/s

Q —— t 时间内的溢出水量, mL

L ——试样的厚度, cm

A ——试样的上表面面积, cm^2

H ——水位差, cm

t ——时间, s

1.2.2 堵塞过程设计

测定初始透水系数后,开始堵塞实验并计时,测定经过设计堵塞时间后的透水系数。

近 60 年云南昆明年平均降雨量为 994.46 mm ^[12],透水砖的有效透水面积为 165.13 cm^2 ,根据下式计算该面积下的一年雨量为 16421.5 mL 。

$$V = Ah \quad (2)$$

式中 V ——透水砖有效面积对应年降雨总量, mL

h ——昆明的年平均降雨量, mm

此次模拟实验取径流系数为 0.4 ,堵塞溶液供水系统流量为 50 mL/min ,根据下式计算模拟一年降雨量需要堵塞 197 min 。

$$t' = \frac{(1 - \alpha) \cdot V}{q} \quad (3)$$

式中 t' ——年降雨总量对应的堵塞时长, min

α ——实验设计径流系数,取0.4

q ——堵塞溶液供水系统流量, mL/min

1.2.3 清洗恢复

堵塞实验结束后,采用不同清洗方案养护透水砖,并测定清洗恢复后的透水系数 K_2 。根据清洗频率、单次堵塞实验时长、清洗方式、干/湿式清洗等四个因素,设计清洗实验方案如表2所示。其中,清洗方式有:a.常压水表面扫洗;b.常压水配合手动毛刷刷洗;c.普通自来水用高压水枪冲洗;d.柠檬酸钠溶液用高压水枪冲洗。干式清洗表示堵塞实验后,透水砖在干燥条件下放置48 h后再进行清洗恢复;湿式清洗表示透水砖经堵塞后立即进行清洗恢复。

表2 实验方案

Tab.2 Experimental schemes

组别	清洗频率/ (次·a ⁻¹)	堵塞时长/ (min·次 ⁻¹)	清洗方式	干/湿 清洗
1	4	49	常压水	干
2	4	49	高压水	湿
3	4	49	不洗	干
4	4	49	毛刷	干
5	3	66	高压水	干
6	6	33	高压水	干
7	4	49	高压水	干
8	12	16	高压水	干
9	4	49	高压柠檬酸钠溶液	干

2 结果与分析

2.1 清洗方式分析

对实验中各组数据采用归一化处理,以清洗次数为横坐标,试块清洗后透水系数与初始值百分比为纵坐标,分析第1、3、4、7、9组实验,得到不同清洗方式下透水系数变化曲线(见图2)。

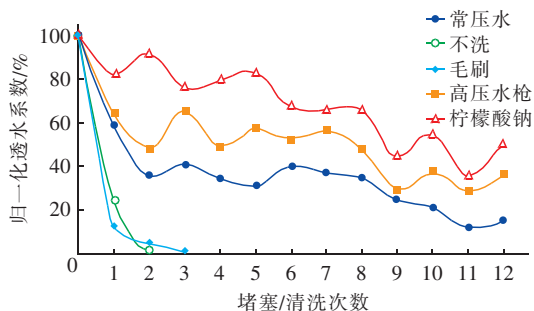


图2 不同清洗方式透水系数变化曲线

Fig.2 Curves of permeability coefficient of different cleaning ways

由图2可知,试块3经2次堵塞,均不清洗,透

水系数下降至0.01 mm/s以下,为初始值的3%,远小于规范中0.1 mm/s的要求,不再继续堵塞。采用高压水枪清洗后,透水系数恢复至0.081 5 mm/s,为初始值的34%。试块4经过3次堵塞,毛刷刷洗后,透水系数下降至0.001 1 mm/s,为初始值的0.78%,远小于要求,不再继续堵塞。试块1、7、9经过12次堵塞及清洗后,透水系数分别维持在初始值的15%、36%、50%。

透水砖表层骨料粒径较小,堵塞过程中阻隔了大部分颗粒;在清洗过程中,水流对堵塞颗粒带来扰动,将表层堆积的颗粒冲走,并使透水砖内部堵塞颗粒具有动能而透过透水砖。高压水动能更大,清洗养护效果更佳;柠檬酸钠含有丰富的羧基基团,对金属阳离子产生络合包结作用^[13],能够促进颗粒物的去除,对透水砖的清洗有一定促进作用。采用毛刷刷洗容易使表层堵塞颗粒进入透水砖内部,对透水性能恢复作用不大。

分析第2、7组实验,得到干湿清洗方式透水系数变化曲线(见图3)。经过12次堵塞/清洗后,试块2、7透水系数分别下降至初始值的52%和36%,表明堵塞后立刻清洗,透水砖的透水性能恢复效果更佳。原因可能是,湿润状态下透水砖孔隙内部的堵塞颗粒处于不稳定期,更容易去除;静置干燥后,堵塞颗粒固结在孔隙内,转化为半永久堵塞物,去除难度加大。

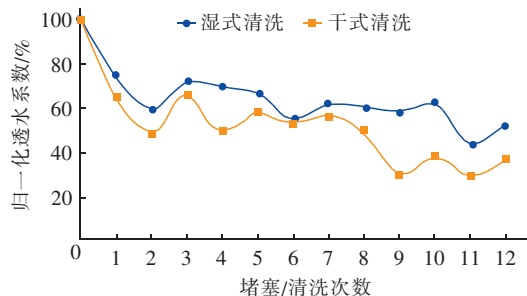


图3 干湿清洗方式透水系数变化曲线

Fig.3 Curve of permeability coefficient of dry/wet cleaning

2.2 清洗周期对透水砖养护影响

分析第5、6、7、8组实验,将模拟冲洗的月份作为横坐标,归一化后的透水系数作为纵坐标,对不同周期的散点图做趋势线,得到不同清洗周期透水系数变化散点图(见图4)。如图4所示,堵塞0~4个月,清洗周期 $T=12$ 对应的趋势线在最上方,其次是 $T=6$ 、 $T=4$ 和 $T=3$;5~9个月,趋势线由上而下依

次是 $T=12$ 、 $T=4$ 、 $T=6$ 和 $T=3$; 9 个月后, 依次是 $T=4$ 、 $T=12$ 、 $T=6$ 和 $T=3$, 这表明透水砖使用早期, 高频率的清洗能够达到较好的养护效果, 但经过长时间的堵塞后, 高频率的清洗对透水性能恢复效果不明显。原因可能是试块初始孔隙较大, 堵塞初期易恢复, 但随着实验次数增多, 透水砖孔隙堵塞, 清洗对透水砖透水性能的恢复效果减弱。

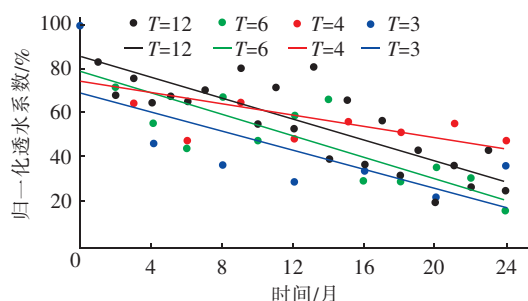


图 4 不同清洗周期透水系数变化散点图

Fig. 4 Scatter plot of permeability coefficient of different cleaning periods

3 结论

① 清洗能减缓透水砖的堵塞, 混合了柠檬酸钠的高压水对透水砖清洗效果最佳, 其次是普通高压水清洗、常压水清洗及使用毛刷清洗, 但毛刷刷洗几乎无效果。

② 湿润状态下清洗透水砖比干燥静置后清洗效果更好, 建议透水砖清洗养护前先使用清水润湿或选在雨后进行。

③ 短时间内, 透水砖清洗频繁对透水性能的恢复有效果, 但随着使用时间的增长, 高频率的清洗对减缓透水砖透水系数的下降作用不大。

参考文献:

- [1] 车伍, Frank Tian, 李俊奇, 等. 奥克兰现代雨洪管理介绍(一)——相关法规及规划[J]. 给水排水, 2012, 38(3): 30-34.
Che Wu, Frank Tian, Li Junqi, et al. Introduction to Auckland modern stormwater management (I): Relevant legislation and plans[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(3): 30-34 (in Chinese).
- [2] Siriwardene N R, Deletic A, Fletcher T D. Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study[J]. Water Res, 2007, 41(7): 1433-1440.
- [3] Balades J D, Legret M, Madiec H. Permeable pavements: Pollution management tools[J]. Water Sci Technol, 1995, 32(1): 49-56.
- [4] Vancura M E, Macdonald K, Khazanovich L. Location and depth of pervious concrete clogging material before and after void maintenance with common municipal utility vehicles[J]. J Transport Eng - ASCE, 2012, 138(3): 332-338.
- [5] 尹洪军, 彭颖. 海绵城市设施及材料选型探讨[J]. 给水排水, 2016, 42(S1): 250-254.
Yin Hongjun, Peng Ying. Discussion on the selection of sponge city facilities and materials[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(S1): 250-254 (in Chinese).
- [6] 张朝辉, 王沁芳, 杨娟. 透水混凝土强度和透水性影响因素研究[J]. 混凝土, 2008(3): 7-9.
Zhang Zhaohui, Wang Qinfang, Yang Juan. Influence factors of compressive strength and permeability of pervious concrete[J]. Concrete, 2008(3): 7-9 (in Chinese).
- [7] 蒋玮, 沙爱民, 肖晶晶, 等. 多孔沥青混合料的空隙堵塞试验研究[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(2): 271-275.
Jiang Wei, Sha Aimin, Xiao Jingjing, et al. Experimental study on the clogging of porous asphalt concrete[J]. Journal of Building Materials, 2013, 16(2): 271-275 (in Chinese).
- [8] 王俊岭, 刘栓, 宋健, 等. 透水混凝土路面堵塞对径流水质控制影响试验研究[J]. 混凝土, 2017(6): 140-143.
Wang Junling, Liu Shuan, Song Jian, et al. Experimental on the control effect of the blockage of pervious concrete pavement for runoff water quality[J]. Concrete, 2017(6): 140-143 (in Chinese).
- [9] 王建龙, 许怀奥, 黄涛, 等. 北京市道路沉积物的粒径分布及其污染特性研究[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(3): 9-14.
Wang Jianlong, Xu Huaiao, Huang Tao, et al. The research of size distribution and pollution characteristics of road sediments in Beijing[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(3): 9-14 (in Chinese).
- [10] 莫文锐, 田森林, 黄建洪, 等. 百年一遇大旱后城区降雨径流污染时空差异与可生化性[J]. 地球与环境, 2012, 40(2): 227-231.
Mo Wenrui, Tian Senlin, Huang Jianhong, et al. Temporal-spatial distribution of pollution and

- biodegradability in precipitation runoff in urban area after the once-in-a-century drought [J]. *Earth and Environment*, 2012, 40(2): 227–231 (in Chinese).
- [11] 彭奇均, 孙培冬. 柠檬酸钠在洗涤剂中的应用及发展前景[J]. *日用化学工业*, 1996(4): 27–30.
Peng Qijun, Sun Peidong. Application and development prospect of sodium citrate in detergent [J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 1996(4): 27–30 (in Chinese).
- [12] 王志良, 张永山. 昆明年降雨量时间序列的混沌分析[J]. *华北水利水电学院学报*, 2011, 32(2): 8–10.
Wang Zhiliang, Zhang Yongshan. Chaos analysis of time series of Kunming annual precipitation [J]. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 2011, 32(2): 8–10 (in Chinese).
- [13] 胡世平, 李建平, 谢志平, 等. 柠檬酸根对 Ba^{2+} 、 Ca^{2+} 的阻垢性能研究[J]. *石油化工高等学校学报*, 2017, 30(2): 29–33.
Hu Shiping, Li Jianping, Xie Zhiping, et al. Research

about scale inhibition of citrate on Ba^{2+} and Ca^{2+} [J]. *Journal of Petrochemical Universities*, 2017, 30(2): 29–33 (in Chinese).



作者简介: 文韬(1987—), 男, 四川渠县人, 大学本科, 工程师, 主要从事建筑施工及管理工作。

E-mail: liyawenblue@gmail.com

收稿日期: 2018–10–22

· 信息 ·

《中国给水排水》杂志社第九届城市雨污水管理高级研讨会圆满结束

2019年5月8日—10日,《中国给水排水》杂志社第九届城市雨污水管理高级研讨会在青岛成功召开。本届会议以“海绵城市、智慧水务、水环境综合整治”为主题,以“生态、宜居、科学、智慧”为交流宗旨,邀请了30多位来自各大设计院、规划院、水务集团公司等单位的一线专家,通过不同代表性城市的典型案例,就当前海绵城市建设、黑臭水体治理等领域的热点问题分享了自己的观点和经验。此外,还组织考察了青岛市的小麦岛生态修复环境整治工程和李村河流域整治工程,为城市水务业内人士搭建了良好的技术交流平台,得到了与会代表的一致好评。本次会议由《中国给水排水》杂志社、青岛理工大学城镇污水处理与资源化国家地方联合工程中心、中国市政工程华北设计研究总院有限公司、上海城市雨洪管理工程技术研究中心联合主办,由中国建设科技集团股份有限公司、上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司、新西兰宜水环境科技(上海)有限公司、青岛思普润水处理股份有限公司、山东良成环保科技股份有限公司、北京建筑大学城市雨水与水环境教育部重点实验室、重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室、《亚洲环保》杂志社等单位协办,同时还得到了青岛市海绵城市建设工作领导小组办公室、崂山区和李沧区城市建设管理局、上海航征测控系统有限公司、青岛欧仁环境科技有限公司等单位的大力支持,在此一并表示感谢!

(本刊编辑部)